

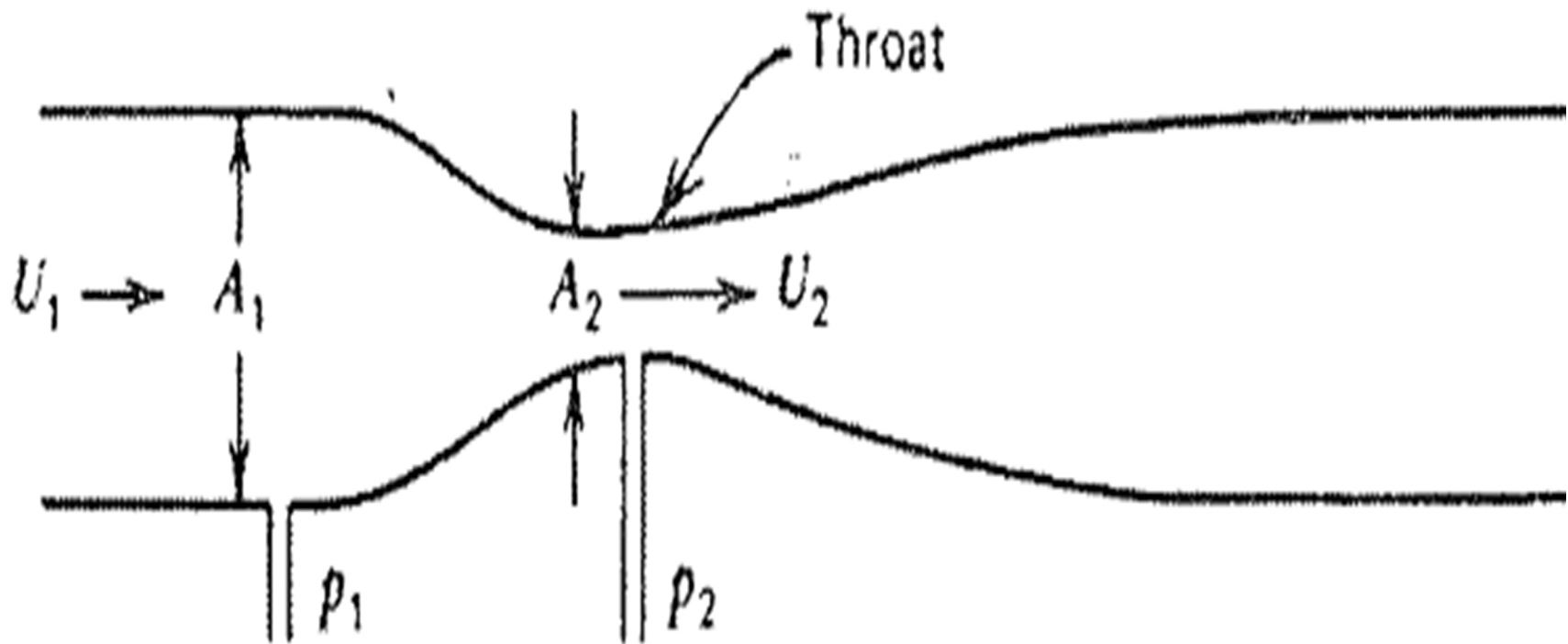
اندازه گیری هواگذر توسط اریفیس و ونتوری

دکتر احمد نیک پی
دانشگاه علوم پزشکی قزوین
پاییز 92
نگارش دوم
nikpey@gmail.com

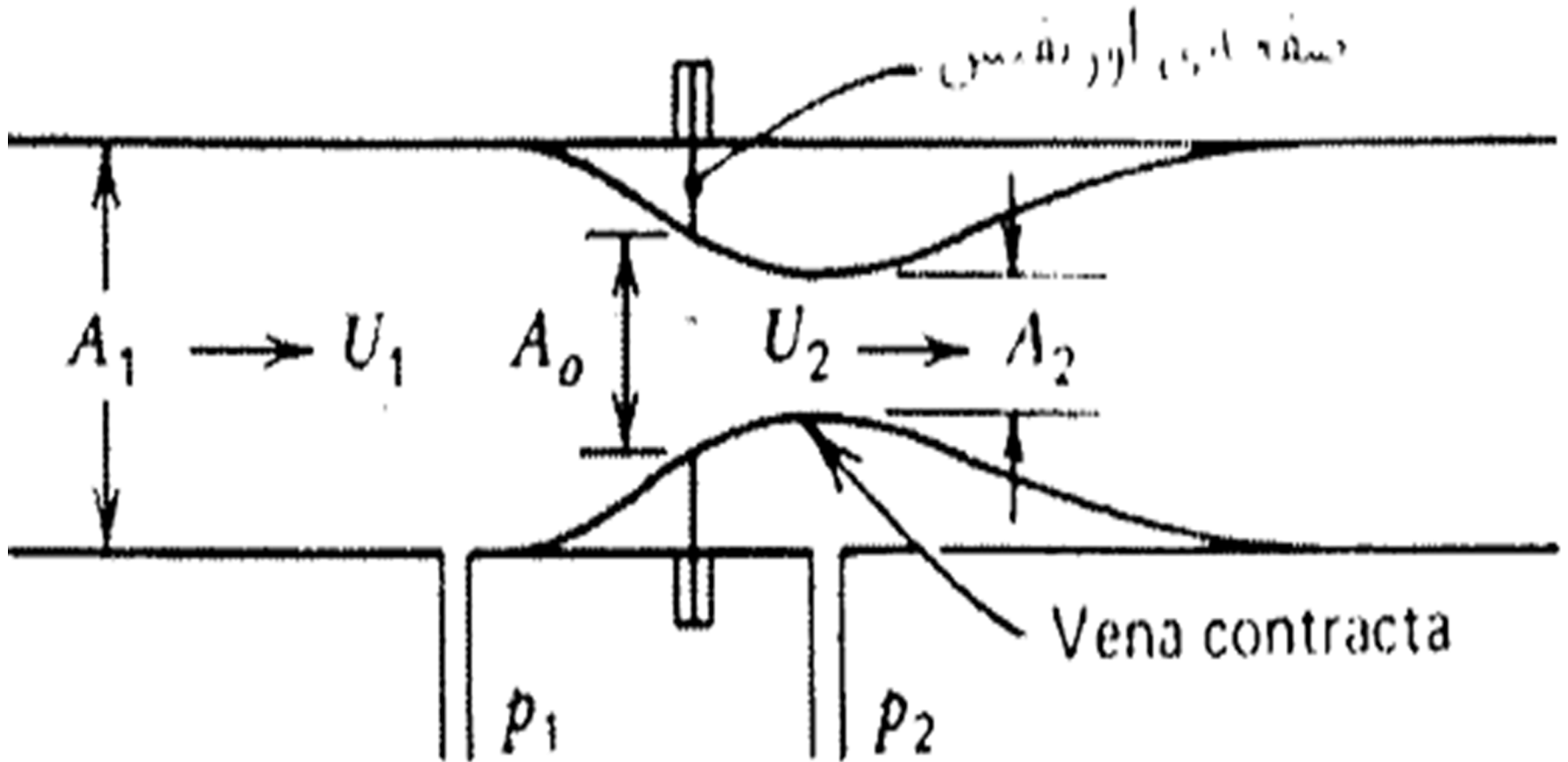
اهداف آموزشی

- آشنایی با اریفیس و ونتوری
- آشنایی با نحوه اندازه گیری هواگذر

ونتوری



اریفیس



رابطه محاسبه هواگذر

k: 0.98 برای ونتوری

K: 0.62 برای اریفیس

$$Q = KA_2 \left[\frac{2(\Delta p)}{\rho_g (1 - (\frac{A_2}{A_1})^2)} \right]^{0.5}$$



روش های طراحی سیستم تهویه صنعتی

- متعادل سازی به روش دریچه blast gate
- متعادل سازی به روش طراحی design method

اصول طراحی به روش فشار سرعت

- جانیابی هود
- محاسبه افت فشار و هواگذر هود
- محاسبه افت فشار کانال ها
- محاسبه افت فشار تصفیه کننده
- در سیستم های چند شاخه متعادل سازی افت فشار در دو شاخه
- محاسبه افت فشار استاتیک و فشار سرعت نهایی قبل و بعد از هواکش
- محاسبه توان هواکش
- انتخاب هواکش







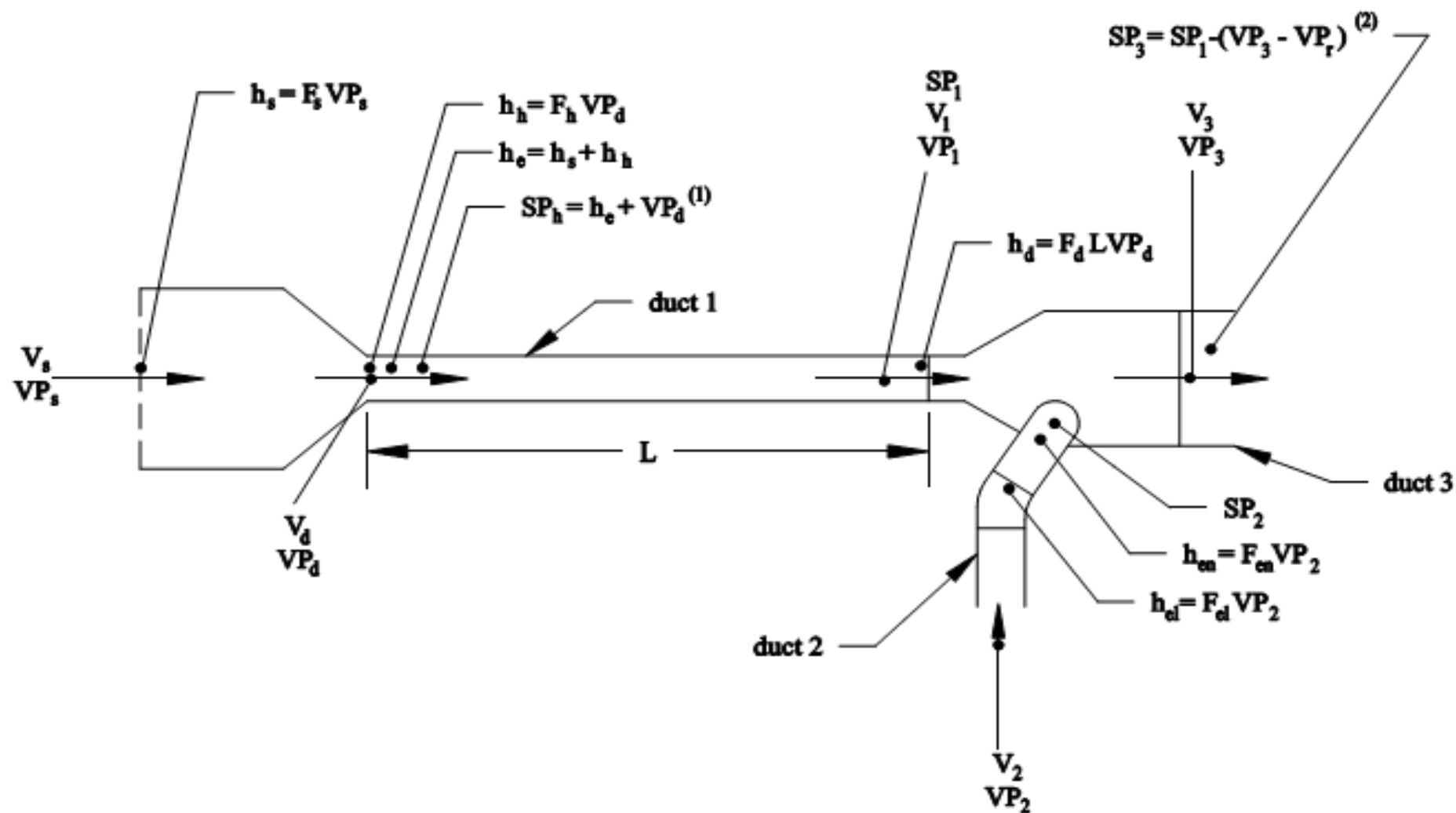
کلید طراحی سیستم تهویه به روش طراحی

- چون سیال همواره تمایل به عبور از مسیر با مقاومت کمتری دارد، باید فشار استاتیک یا مقاومت فشاری در شاخه ها به گونه ای متعادل شود که هواگذر تعریف شده از هر شاخه تامین شود.
- متعادل سازی فشار یا با تغییر در طراحی و یا با ایجاد مقاومت اضافی در سیستم (دریچه متعادل سازی فشار) انجام می شود.

طراحی سیستم تهویه به روش فشار سرعت

- متعادل سازی جریان در دو شاخه موازی با متعادل سازی فشار استاتیک در محل اتصال دو شاخه و با تغییر در پارامترهای موثر بر مقاومت شاخه نظیر قطر و طول شاخه، زاویه چرخش، جنس قطعات و ... انجام می شود.
- این روش به شیوه طراحی از طریق تعادل در فشار استاتیک هم معروف است
- **- Static Pressure Balance Method**

پارامترهای مهم در طراحی به روش فشار سرعت و محل اندازه گیری آنها



صفحه محاسباتی، ابزار طراحی سیستم بر اساس متعادل سازی از
طریق طراحی

آشنایی با بخش های مختلف صفحه محاسباتی

ACGIH® Velocity Pressure Method Calculation Sheet						
Elevation : ft		Temperature: °f		Designer:		Date:
1		Duct Segment Identification		1-A	2-A	A-B 3-B
2	T	Dry-Bulb Temperature (F)				
3	Q	Flow Rate (Dry Air) scfm				
4	*Vt	Minimum Transport Velocity fpm				
5	mH2O	Lbs Water per minute H20/min				
6	mda	Lbs Dry Air per Minute da/min				
7	df	Density Factor				
8	Qduct	Duct Flow Rate acfm				
9	At	Target Duct Area ft2				
10	d	Selected Diameter inches				
11	A	Selected Duct Area ft2				
12	Vd	Duct Velocity fpm				
13	VPd	Duct Velocity Pressure "wg				
14	h	Total Heat btu/#da				
15	As	H O O D S L O T	Slot Area ft2			
16	Fs		Slot Loss Coefficient VP/slot			
17			Acceleration Factor 0 or 1			
18	Vs		Slot Velocity fpm			
19	VPs		Slot Velocity Pressure "wg			
20			Slot Loss in VP VP total			
21	SPs		Slot Static Pressure "wg			
22	Fh	L O S S E S	Hood Entry Coefficient VP/hood			
23			Acceleration Factor 1 or 0			
24			Hood Entry Loss in VP VP total			
25			Hood Entry Loss "wg			
26			Other Losses "wg			
27	SPh		Hood Static Pressure "wg			
28	L	D U C T	Straight Duct Length ft			
29	Fd		Duct Friction Factor VP/ft			
30			No. of 90 Degree Elbows			
31	Fel		Elbow Loss Coefficient VP/90° el			
32	Fen		Branch Entry Coefficient VP/en			
33			Special Fitting Coefficient VP			
34			Duct Friction Loss in VP VP			
35			Elbow Loss in VP VP			
36			Duct Loss in VP VP total			
37			Duct Loss "wg			
38			Other Losses "wg			
39	VP _r		Weighted Average VP "wg			
40			Loss From Velocity Increase "wg			
41			Segment Pressure Loss "wg			
42	SP _{gov}		Governing Static Pressure "wg			
43	SP _{cum}	Cumulative Static Pressure "wg				
44	Q _{corr}	Corrected Volumetric Flow acfm				
45	V _{corr}	Corrected Velocity fpm				
46	VP _{corr}	Corrected Velocity Pressure "wg				

شکل ۱۰-۲ صفحه محاسباتی سازمان ACGIH

* Input Data

** Shaded lines 5, 6, 7, 8 & 14 are used for non-standard calculations

*** std is for standard calculations and nstd is for non-standard calculations

Date _____

									1*	1	$\omega = \#H_2O/\#Dry\ Air$								
									2*										
									3*	2	$df = df_e * df_p * df_T * df_m$								
									4*		$df_e = [1 - (6.73 * 10^{-6})(z)]^{5.258}$								
									5*		$df_p = (407 + SP)/(407)$								
									6*		$df_T = (530)/(T + 460)$								
									7		$df_m = (1 + \omega)/(1 + 1.607\omega)$								
									8										
									9										
									10										
									11	3	$Q_{duct} = Q((1 + \omega)/df)$								
									12										
									13	4	$V = 4005 \sqrt{VP/df}$								
									14*										
									15*	5	$VP = df(V/4005)^2$								
									16*										
									17*	6	90 Deg Elbow Loss Coefficients (5 Piece)								
									18										
									19										
									20										
									21		<table><tr><td>R/D</td><td>F_{el}</td></tr><tr><td>1.5</td><td>0.24</td></tr><tr><td>2.0</td><td>0.19</td></tr><tr><td>2.5</td><td>0.17</td></tr></table>	R/D	F _{el}	1.5	0.24	2.0	0.19	2.5	0.17
R/D	F _{el}																		
1.5	0.24																		
2.0	0.19																		
2.5	0.17																		
									22*										
									23*										
									24										
									25	7	Branch Entry Loss Coefficients								
									26										
									27		<table><tr><td>Angle</td><td>F_{en}</td></tr><tr><td>15°</td><td>0.09</td></tr><tr><td>30°</td><td>0.18</td></tr><tr><td>45°</td><td>0.28</td></tr></table>	Angle	F _{en}	15°	0.09	30°	0.18	45°	0.28
Angle	F _{en}																		
15°	0.09																		
30°	0.18																		
45°	0.28																		
									28*										
									29*										
									30*										
									31*	8	$F_d \left(\begin{smallmatrix} metal \\ plastic \end{smallmatrix} \right) = 0.0307(V^{0.533}/Q^{0.612})$								
									32*										
									33*										
									34		$F_d^{(flexible)} = 0.0311(V^{0.604}/Q^{0.639})$								
									35										
									36	9	$VP_r = (Q_1/Q_3)(VP_1) + (Q_2/Q_3)(VP_2)$								
									37										
									38	10	$Q_{corr} = Q_{design} \sqrt{SP_{gov}/SP_{lower}}$								
									39										
									40										
									41	11	SYSTEM SP = SP _{out} - SP _{in} - VP _{in}								
									42		SYSTEM SP provides the FAN SP for fan selection (see 5.8.4)								
									43										
									44										
									45										
									46		SSP = +0.29 - (-6.19) - 0.51 = 5.97								

معرفی شاخه

- ردیف-1 شماره کانال: کانال های دارای هود معمولاً با حرف و عدد مشخص می شوند مثلاً 1-A به معنی هود شماره یک است که در نقطه A به کانال دیگری متصل می شود.
- چون محاسبات از دورترین شاخه به هواکش آغاز می شود، شماره گذاری شاخه های اصلی و رابط نیز به همین شیوه انجام می شود.
- ردیف-2 دمای خشک: دمای خشک محل (درجه فارنهایت)
- ردیف-3 هواگذر حجمی شاخه بر حسب هوای خشک:
- ردیف-4 حداقل سرعت انتقال در کانال:
- ردیف-5 رطوبت در جریان هوا یا نسبت مخلوط (پوند بر دقیقه)
- ردیف-6 هواگذر جرمی هوای خشک (پوند هوا بر دقیقه)
- ردیف-7 فاکتور دانسیته:

معرفی شاخه

- ردیف-8 هواگذر عبوری از کانال در شرایط واقعی (A_{CFM}):
هواگذر عبوری از شاخه های فرعی در شرایط واقعی از رابطه-3 در صفحه محاسباتی ($Q_{duct} = Q((1+w)/df)$ تعیین می شود.
هواگذر در شاخه های فاقد هود، مجموع هواگذر رسیده از شاخه های فرعی می باشد.
- ردیف-9 سطح کانال محاسبه شده بر مبنای هواگذر عبوری در شرایط واقعی (فوت مربع)
- ردیف-10 قطر کانال انتخابی بر اساس قطرهای استاندارد
- اگر قطر کانال برای انتقال هوای حاوی ذرات معلق 0.429 فوت مربع محاسبه شده است، چون کانالی با قطر متناظر به چنین سطحی در بازار وجود ندارد، طراح از قطر 8 اینچ که متناظر به سطح 0.349 فوت مربع است استفاده می کند تا حداقل سرعت انتقال 3500 فوت در دقیقه در کانال تامین شود.

معرفی شاخه

- ردیف-11 سطح کانال انتخابی: بر اساس قطر کانال انتخابی با توجه به رابطه مساحت واقعی با الگوی گرد کردن رو به پایین
- ردیف-12 سرعت انتقال در کانال: سرعت انتقال در کانال با توجه به هواگذر و قطر واقعی کانال از رابطه پیوستگی محاسبه و به صورت عدد صحیح در این بخش قرار می گیرد.
- ردیف-13 فشار سرعت در کانال: فشار سرعت بر مبنای سرعت هوای عبوری و سطح کانال از جدول سرعت/ فشار سرعت (فصل-2) و یا از رابطه فشار سرعت تعیین می شود.
- ردیف-14- گرمای کل (بی تی یو)

افت فشار در هود

- ردیف 15 تا 27 مشخصات هود و شکاف

افت فشار در هود (افت فشار در شکاف)

- ردیف-15 سطح کل شکاف: سطح کل شکاف با توجه به طول هود و هواگذر مورد نیاز.
- ردیف-16 ضریب افت فشار ناشی از ورود هوا به شکاف:
- ردیف-17 فاکتور شتاب:
- ردیف-18 سرعت در شکاف: هواگذر (ردیف 3) تقسیم بر سرعت در کانال ردیف 12
- ردیف-19 فشار سرعت در شکاف: سرعت در شکاف، با استفاده از رابطه فشار سرعت و یا جدول تبدیل سرعت به فشار سرعت تعیین می شود.
- ردیف-20 ضریب افت فشار در شکاف (مجموع ضریب های افت ناشی از فاکتور شتاب همراه با ضریب افت ناشی از ورود جریان هوا به شکاف)
- ردیف-21 فشار استاتیکی در شکاف (اینچ آب): حاصل ضرب افت فشار در شکاف (ردیف 20) در فشار سرعت شکاف (ردیف 19).

افت فشار در هود (افت فشار در هود)

- ردیف-22 ضریب افت فشار ناشی از ورود هوا به هود بر اساس جدول 4-6 و 7-4 (فصل-4) و یا طرح استاندارد
- ردیف-23 فاکتور شتاب: با توجه به افزایش ناگهانی جریان هوای ورودی از هود به کانال، فاکتور شتاب برای هود یک در نظر گرفته می شود.
- ردیف-24 ضریب افت فشار ناشی از ورود جریان از هود به کانال: (ردیف 22 + 23)
- ردیف-25 افت فشار ناشی از ورود جریان از هود به کانال (اینچ آب): ردیف 24 ضرب در ردیف 13 (فشار سرعت)
- ردیف-26 سایر افت ها: معمولاً خالی است مگر اینکه در آن شاخه تصفیه کننده وجود داشته باشد که در آن صورت عدد ردیف 13 (فشار سرعت) را در 1.5 جدول 4-6 و 7-4 (فصل-4) ضرب کرده در این ردیف قرار میدهیم
- ردیف-27 فشار استاتیک هود: مجموع اعداد ردیف های 21، 25 و 26 (اینچ آب)

افت فشار در کانال

- ردیف-28 طول کانال مستقیم: (فوت)
- ردیف-29 فاکتور اصطکاک در کانال: با توجه به جنس کانال از رابطه لونیفلر
- ردیف-30 تعداد زانویی های 90 درجه:
- تعداد زانوهای ها بر اساس زانویی 90 درجه در این بخش قرار می گیرند. مثلاً $60+2 \times 90$ یعنی يك زانوي 60 درجه و 2 زانوي 90 درجه که در مجموع به صورت $1+1+0.67$ و مجموعاً 2.67 می باشد.
- ردیف-31 ضریب افت زانویی:
- ردیف-32 ضریب افت فشار ناشی از اتصال شاخه فرعی به شاخه اصلی: این ردیف فقط برای کانال های فرعی پر می شود.

افت فشار در کانال

- ردیف-33 ضریب افت ناشی از اتصالات خاص: این ردیف همیشه خالی است به جز در آخرین ستون که مربوط به دودکش است و مقدار آن معمولاً 0.5 در نظر گرفته می شود. افت ناشی از اثر سیستم نیز در این ردیف ارائه می شود.
- ردیف-34 ضریب افت کانال: طول کانال ضرب در فاکتور اصطکاک کانال (ردیف 29).
- ردیف-35 ضریب افت زانویی: تعداد زانویی (ردیف 30) ضرب در ضریب افت زانویی
- ردیف 36- مجموع ضریب های افت در کانال: حاصل جمع ردیف های ضریب افت شاخه فرعی (32) + ضریب افت اتصالات خاص (33) + ضریب افت اصطکاک کانال (34) + ضریب افت در زانویی (35)
- ردیف 37- افت در کانال: مجموع ضریب های افت در کانال (ردیف 36) ضرب در ردیف 13 یا فشار سرعت کانال بر حسب اینچ آب
- ردیف- 38 سایر افت ها : افت ناشی از تصفیه کننده و یا افت های ناشی از اثر سیستم (اینچ آب)

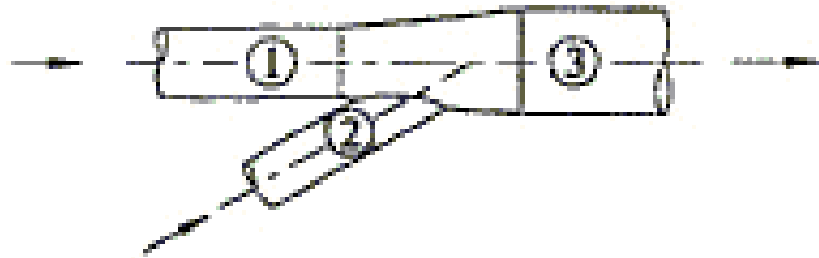
افت فشار در کانال

- ردیف-39 فشار سرعت منته در شاخه سوم : این ردیف فقط برای شاخه هایی تکمیل می شود که دو شاخه موازی به یک شاخه منتهی می شوند.

$$VP_r = \left(\frac{Q_1}{Q_3} \right) VP_1 + \left(\frac{Q_2}{Q_3} \right) VP_2$$

Q_1, Q_2, Q_3 هواگذر در شاخه های فرعی 1 و 2 و شاخه اصلی 3
 VP_1, VP_2 فشار سرعت در شاخه های فرعی 1 و 2
 VP_r : فشار سرعت منته در شاخه اصلی (3)

افت فشار در کانال



شماره کانال	قطر (اینچ)	سطح (فوت مربع)	هواگذر (cfm)	سرعت (fpm)	فشار سرعت (inwg)
۱	۱۰	۰.۵۴۵	۱۹۳۵	۳۵۵۰	۰.۷۹
۲	۴	۰.۰۸۷	۳۴۰	۳۸۹۰	۰.۹۴
۳ (اصلی)	۱۰	۰.۵۴۵	۲۲۷۵	۴۱۷۰	۱.۸

$$VP_r = \left(\frac{Q_1}{Q_3} \right) VP_1 + \left(\frac{Q_2}{Q_3} \right) VP_2 = \left(\frac{1935}{2275} \right) (0.79) + \left(\frac{340}{2275} \right) (0.94) = 0.81 \text{ inwg}$$

فشار سرعت ایجاد شده در کانال سوم به میزان ۰.۲۷ اینچ آب کمتر از فشار سرعت طراحی (۱.۸ اینچ آب) شاخه ۳ است و در نتیجه از سرعت جریان در این شاخه کاسته خواهد شد. به منظور جبران کاهش سرعت، ۰.۲۷ اینچ آب بر فشار استاتیک مورد نیاز تا این بخش افزوده می شود.

$$SP_3 = SP_1 - (VP_3 - VP_r) = -2.11 - (1.08 - 0.81) = -2.11 - 0.27 = -2.38 \text{ "wg}$$

افت فشار در کانال

- ردیف-40 افت فشار ناشی از افزایش سرعت در شاخه سوم.
- این ردیف برای کانال هایی تکمیل می شود که دو شاخه موازی به شاخه سومی ختم می شوند. با توجه به ردیف 39 اگر فشار سرعت بدست آمده در کانال سوم کمتر از فشار سرعت طراحی شاخه باشد قدری از فشار استاتیک جهت سرعت دادن جریان مصرف می شود که مقدار آن در این سطر وارد می شود. در مثال قبل جهت جبران کاهش سرعت، 0.27 اینچ آب بر فشار استاتیک مورد نیاز تا این بخش افزوده شده و فشار استاتیک از 2.11- به 2.38- اینچ آب افزایش یافت.
- ردیف-41 افت فشار کلی در بخش مورد مطالعه: مجموع افت فشارهای هود(27)+ کانال(37)+ سایر افت ها(38) +افت ناشی از افزایش سرعت(40).
- برای مثال در شاخه فرعی، فشار مورد نیاز در محل اتصال A، برای غلبه بر افت های موجود در مسیر A-1 به نحوی که هواگذر 1500 فوت مکعب در دقیقه در سرعت معین تامین شود، 1.28- اینچ آب خواهد بود. اگر فشار منفی بیشتری بر این شاخه اعمال شود، هواگذر نیز به نسبت مربع فشار (قانون دوم هواکش ها) افزایش می یابد.
- فاکتور کلیدی در طراحی متعادل سازی فشارهای استاتیک در محل اتصال دو شاخه به یکدیگر است.

افت فشار در کانال

- ردیف-42 فشار استاتیک حاکم یا غالب: در این ردیف فشار استاتیک دو شاخه موازی با یکدیگر مقایسه شده و فشار استاتیک بیشتر با رعایت شرایطی به عنوان فشار استاتیک غالب انتخاب و با علامت منفی درج می شود.
- اگر نسبت فشار استاتیک در دو شاخه موازی 1.3 باشد، جریان عبوری از کانال با مقاومت کمتر با چه نسبتی افزایش می یابد.
حل مسئله بر اساس قانون دوم هواکش ها به شرح زیر است.

$$\frac{CFM_2}{CFM_1} = \left[\frac{1.3}{1} \right]^2 \rightarrow CFM2 = 1.69CFM1$$

ردیف-43 فشار استاتیک تجمعی

فشار استاتیک مورد نیاز سیستم تا آن نقطه ارائه می شود. به این منظور ابتدا فشار استاتیک شاخه یا بخش را از ردیف 41 انتخاب کرده و با فشار استاتیک غالب از ردیف-42 جمع و نتیجه با علامت منفی در این ردیف درج می شود.

• Cumulative Static Pressure-

ردیف-44 هواگذر تصحیح شده

-Corrected Volumetric Flow

- اگر اختلاف فشار استاتیک در دو شاخه موازی کمتر از 20 درصد باشد، تعادل شاخه ها از طریق افزایش هواگذر در شاخه با مقاومت کمتر انجام می شود.

$$Q_{\text{Corrected}} = Q_{\text{Design}} \sqrt{\frac{SP_{\text{gov}}}{SP_{\text{lower}}}}$$

SP_{gov} فشار استاتیک حاکم یا بزرگ تر در محل اتصال
 SP_{lower} فشار استاتیک در شاخه با فشار استاتیک کم تر
 Q_{Design} هواگذر مبنای طراحی در شاخه ای که فشار استاتیک کمتری دارد.

- ردیف-45 سرعت تصحیح شده: با توجه به ردیف 42، سرعت جدید در شاخه با مقاومت کمتر که حجم هواگذر آن در ردیف 43 محاسبه شده است، تعیین و در این سطر قرار می گیرد.
- ردیف-46 فشار سرعت تصحیح شده: فشار سرعت جدید بر اساس سرعت واقعی محاسبه شده در ردیف 45 درج می شود.
-

متشكرم

